



## Diagnóstico y propuesta de gestión de las actividades de mantenimiento del sistema semafórico de Bogotá, D.C.

### Motion for diagnosis and management of activities of maintenance system of Bogotá D.C. traffic lights

Jose Ignacio Rodriguez Molano<sup>1</sup> Miguel Ángel Martínez Cárdenas<sup>2</sup>

**Para citar este artículo:** Rodriguez J.I. y Martínez, M.A. (2015). Diagnóstico y propuesta de gestión de las actividades de mantenimiento del sistema semafórico de Bogotá, D.C. *Revista Redes de Ingeniería*. 6(2), 77-91.

**Recibido:** 08-agosto-2015 / **Aprobado:** 10-noviembre-2015

#### Resumen

Dado que es una necesidad mejorar constantemente la malla vial en la ciudad de Bogotá D.C., así como aprovechar adecuadamente los recursos dispuestos para las vías de carácter local e intermedia, se hace fundamental priorizar en una parte de la infraestructura urbana: la supervisión y mantenimiento detallado de la semaforización, dispositivo que regula el tráfico de vehículos y peatones en las intersecciones de las calles. En este sentido, se caracterizó, identificó y evaluó el despliegue de los contratos interadministrativos que se ejecutan actualmente, mediante visitas de campo que permitieron valorar el estado actual del sistema semafórico, lo que proporcionó una visión holística de su funcionamiento. Lo anterior permitió el planteamiento de alternativas de mejora desde la parte eléctrica, equipos de control, interconexión, postes y obras civiles, para reforzar la conformación del sistema de movilidad según las disposiciones del Plan de Gobierno de Bogotá para el área específica, periodo 2012-2015 y del Plan Maestro de Movilidad para Bogotá Distrito Capital.

**Palabras clave:** interventoría de equipos de control, interventoría de obras civiles y postes, interventoría eléctrica, movilidad, semaforización.

#### Abstract

Since it is a necessity to constantly improve the road network in the city of Bogotá and benefit adequately prepared resources for local roads and intermediate character is therefore essential to prioritize a part of urban infrastructure such as the monitoring and detailed maintenance of traffic lights, device regulating vehicular traffic and pedestrians at intersections of streets. In this sense, was characterized, identified and evaluated the deployment of inter-administrative contracts that are currently running through field visits that allowed assess the current state of the traffic light system, and it provided a holistic view of their performance. This allowed the approach of improvement alternatives from the Electrical hand, control equipment, interconnection, poles and civil works to strengthen the conformation of the mobility system under the provisions of the Plan of Government of Bogotá for the specific area, period 2012- 2015 and Mobility Master Plan for Bogotá Distrito Capital.

**Keywords:** auditing control equipment, electric auditing, mobility, supervision of civil works and posts, traffic lights.

1. Universidad Distrital Francisco José de Caldas

2. Universidad Distrital Francisco José de Caldas

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano en Colombia en el último siglo ha demandado el incremento del número de desplazamientos de tráfico en general [1], con ocupaciones muy bajas de 1,2 personas/vehículo [2]; lo cual supone la creación de nuevas calles que permitan mayor acceso y movilidad. No obstante, cabe decir que esto ha generado un alto nivel de congestión, contaminación y accidentalidad [3], así como el descenso de la seguridad en los desplazamientos y un uso irracional de los recursos naturales y económicos, por no hablar de problemas de índole social [4]. Esto es un indicio de que el contexto de movilidad presenta una alta repercusión sobre el medio urbano, que tiende a deteriorarse con el paso de los días, dada la poca capacidad organizativa con que se ha ido extendiendo sobre un sistema viario de carreteras, accesos y ejes de conexión [5] y porque no existe una propuesta de planificación que de verdad conjugue y tenga en cuenta la interrelación presente entre expansión urbana y sistemas de transporte [6].

Ante estas tasas fácilmente perceptibles, se hace necesario la creación de nuevos proyectos que se constituyan en la verdadera salida al problema y que por supuesto deben estar relacionados con los temas de transporte y de expansión de sus diferentes ciudades [5], que permita una gestión más eficiente y sostenible, según el *Libro Verde* de la Movilidad Urbana [7]; además, de que toda planificación en su infraestructura ha de garantizar que se cubran las necesidades de los habitantes respecto a su movilización, en entornos urbanos donde los altos índices de motorización y de congestión son predominantes [5].

Si bien es cierto que la ciudad presenta un rezago en su malla vial, la solución no solo puede darse desde la perspectiva de la oferta vial [8], sino que es necesario orientar esfuerzos hacia todos los recursos que provee la Secretaría de Movilidad, particularmente para esta investigación el de la red

semafórica, de ahí deriva la importancia del mantenimiento para optimizar, organizar y hacer viable dicha movilidad urbana en los próximos años, como medio que reconoce esa realidad para prestar un servicio acorde con sus capacidades y requerimientos técnicos, así como eléctricos, articulados con el sistema de movilidad general [9], donde es indispensable el apoyo de la policía, el Ministerio de Transporte y el Fondo de Prevención Vial.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Formalización y estructuración de procedimientos

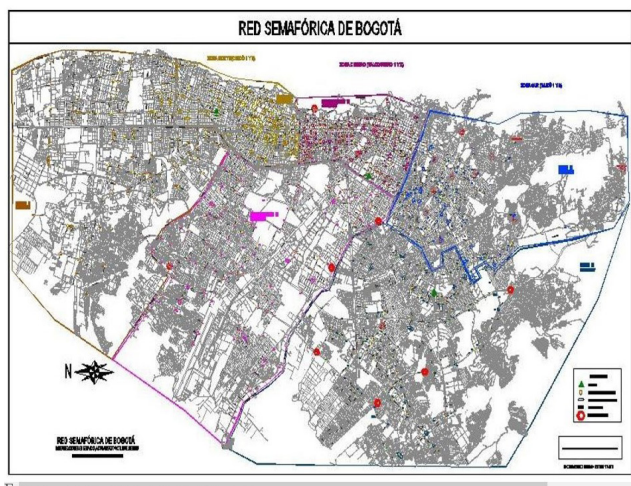
#### Caracterización

La Secretaría Distrital de Movilidad (SDM), como ente responsable y autoridad de tránsito y transporte de la ciudad de Bogotá D.C., es la entidad encargada del mantenimiento, expansión y operación integral del sistema de semaforización, así como de los proyectos de inversión que son un componente fundamental para el control del tránsito de la ciudad. Lo anterior permite la accesibilidad y la circulación, dándole un uso ordenado a los diferentes sistemas de movilidad, tanto para vehículos como peatones, y permite garantizar la movilidad segura y eficiente de los diferentes actores del tránsito en la ciudad.

Actualmente, la ciudad de Bogotá D.C. cuenta con 1017 equipos de control local instalados en las diferentes cruces, los cuales están conectados a la red de distribución eléctrica de la ciudad (SDM, 2013) [10]. Dichos equipos señalizan el paso seguro de aproximadamente mil doscientas cuarenta (1240) intersecciones semaforizadas y funcionan las veinticuatro horas del día los trescientos sesenta y cinco días del año, impartiendo las diferentes señales para el adecuado control del tránsito.

En su gran mayoría, los equipos de control local se encuentran interconectados a tres centrales de

control y monitoreo de tráfico (Chicó, Paloquemao y Muzú). Cada central cuenta con dos computadores de control de tráfico, los marcos de comunicaciones que actúan como los enlaces entre los computadores de tráfico y los equipos de control local, los terminales de manejo y registro de operación del sistema.



**Figura 1.** Planeamiento de SDM. Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad.

Las intersecciones semaforizadas comprenden los siguientes componentes físicos:

- Centro de control
- Equipo de control local
- Semáforos
- Detectores de tráfico
- Postes y ménsulas
- Red eléctrica
- Acometida eléctrica
- Red de interconexión.
- Amueblamiento obras civiles.

Todos los elementos que componen de manera integral la red semafórica, para su buen funcionamiento se enmarcan bajo los siguientes procedimientos, que se relacionan en la tabla 1.

Los procesos descritos anteriormente se ejecutan a través de contratos interadministrativos con el distrito, por lo que es necesario que exista una interventoría que verifique la realización y ejecución de dichas actividades, según los requerimientos y compromisos adquiridos con la Secretaria Distrital de Movilidad.

**Tabla 1.** Caracterización de los procedimientos de interventoría.

Procedimientos	Caracterización
<b>Procedimientos de interventoría postes</b>	<p><b>Objeto del procedimiento:</b> fabricación, instalación y mantenimiento de los postes para el sistema de semaforización de Bogotá D. C.</p> <p><b>Procedimientos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Trabajos correctivos de cambio de postes</li> <li>2. Reporte de un siniestro</li> <li>3. Trabajos en un siniestro</li> <li>4. Labores de mantenimiento</li> </ol>
<b>Procedimientos de interventoría obras civiles</b>	<p><b>Objeto del procedimiento:</b> construcción, reconstrucción y mantenimiento de las obras civiles para el sistema de semaforización de Bogotá d. c., incluye diseño semafórico de intersecciones para implementación de nuevos controles semaforizados.</p> <p><b>Procedimientos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Construcción de intersecciones nuevas a semaforizar</li> <li>2. Construcción de complementos de pasos peatonales</li> <li>3. Atención a correctivo y emergencia</li> </ol>

Continúa

<b>Procedimiento de planeamiento de tráfico</b>	<p><b>Objeto del procedimiento:</b> diseñar y optimizar el planeamiento del control de tráfico en función del tiempo y del tráfico, de la red semaforizada de la ciudad, incluyendo las nuevas intersecciones que se vayan integrando al sistema.</p> <p><b>Procedimiento:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Planeamiento</li> </ol>
<b>Procedimiento de interventoría equipos de control de tráfico</b>	<p><b>Objeto del procedimiento:</b> mantenimiento preventivo y correctivo de computadores de tráfico y sus periféricos, equipos de control de tráfico local y conexión de módulos evaluadores de tráfico del sistema de semaforización de Bogotá D.C.</p> <p><b>Procedimiento:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenimiento correctivo</li> <li>2. Mantenimiento preventivo</li> </ol>
<b>Procedimiento de interventoría de interconexiones</b>	<p><b>Objeto del procedimiento:</b> mantenimiento integral (preventivo y correctivo) de la red de interconexión telefónica del sistema de semaforización de Bogotá D.C.</p> <p><b>Procedimientos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión técnica</li> <li>2. Verificación de los mantenimientos preventivos para cada red</li> <li>3. Seguimiento del diagnóstico y solución de la falla por parte del contratista</li> <li>4. Instalación del cable y la caja terminal para la conexión del equipo con la central</li> <li>5. Visita a las cuadrillas en terreno, verificación del plan de manejo de tránsito, elementos de seguridad, entre otros</li> </ol>
<b>Interventoría al mantenimiento eléctrico</b>	<p><b>Objeto del procedimiento:</b> mantenimiento de semáforos y redes eléctricas del sistema de semaforización de Bogotá D.C.</p> <p><b>Procedimientos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenimiento eléctrico correctivo</li> <li>2. Mantenimiento eléctrico preventivo</li> </ol>

### Levantamiento de la información, sistematización, análisis y priorización de factores representativos

Durante esta fase se realizó la recolección de datos que permiten sistematizar y seleccionar los problemas con mayor incidencia, importancia y nivel de criticidad en el sistema semafórico de Bogotá D.C., que generan dificultades en la ejecución de los contratos.

**Información, análisis y priorización de problemas encontrados en la fabricación, instalación y mantenimiento de los postes para el sistema de semaforización de Bogotá D.C.**

*Problema: cambio de postes*

Causas:

- La oxidación de cartelas y bases de los postes hacen que este sufra un debilitamiento de tipo estructural (ruptura).
- Postes enterrados en andenes en el momento de la ejecución de obras por contratistas externos, que no cumplen con la normatividad dada en anexos técnicos.

En la tabla 2 se relaciona los porcentajes de los últimos seis meses con respecto al reemplazo de elementos.

**Tabla 2.** Mantenimientos postes semafórico..

Mes	Año	Nivelación Base	Cambio Tornillo	Reemplazo platina base	Reemplazo total platina poste
Marzo	2015	3	32	20	8
Febrero	2015	63	124	49	9
Enero	2015	16	109	38	18
Diciembre	2014	5	22	10	2
Noviembre	2014	28	72	32	9
Octubre	2014	30	82	28	9
Total		145	441	177	55

Uno de los principales problemas que tiene la ciudad de Bogotá D.C. está relacionado con los accidentes de tránsito que involucran choque contra los postes semafóricos, tales accidentes se incrementan en las noches y los fines de semana.

**Información, análisis y priorización de problemas encontrados en construcción, reconstrucción y mantenimiento de las obras civiles para el sistema de semaforización de Bogotá D.C., incluye diseño semafórico de intersecciones para implementación de nuevos controles semaforizados**

*Problema: afectación cajas de paso*

- Hurto o avería de marcos para cajas de paso
- Hurto o avería de tapas para cajas de paso
- Obstrucciones de tuberías

**Información, análisis y priorización de problemas encontrados en mantenimiento preventivo y correctivo de computadores de tráfico y sus periféricos, equipos de control de tráfico local y conexión de módulos evaluadores de tráfico del sistema de semaforización de Bogotá D.C.**

Las actividades y atenciones que realizan los grupos de mantenimiento de equipos de control del

proyecto de semaforización se clasifican de la siguiente forma:

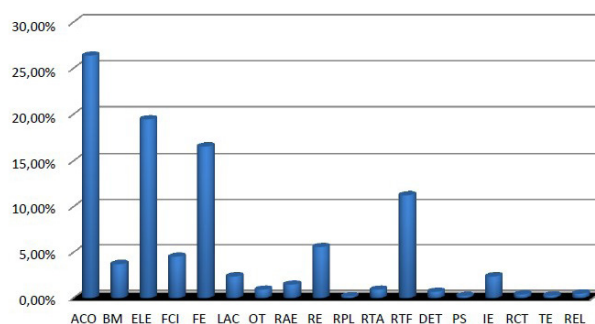
- Energía (ACO): falla en la acometida del equipo.
- Bloqueo de modem (BM): se efectúa desbloqueo de modem de equipo de control
- Trabajo de detectores (DET): instalación o puesta a punto de sistemas de detectores
- Cable eléctrico y semáforos (ELE): falla de conexión eléctrica
- Cable de interconexión (FCI): falla en la comunicación del equipo con la central
- Falla de equipo (FE): fallo en algún módulo de equipo de control
- Instalación de equipo (IE): Se realiza instalación de equipo de control
- Equipo de local a central (LAC): se restablece la conexión del equipo con la central
- Otros (OT): otras actividades
- Puesta en servicio (PS): se da en funcionamiento un equipo de control instalado
- Reprogramación y ampliación del equipo (RAE): se programa para aumentar grupos.
- Retiro de controlador de tráfico (RCT): se retira equipo de control
- Revisión de equipo (RE): se realiza chequeo del equipo

- Recibo de planeamiento (RPL): se recoge planeamiento para equipo de control
- Reprogramación PDM–actuado (RTA): se programa teniendo en cuenta tráfico actuado.
- Reprogramación (RTF): se realiza una reprogramación del equipo de control.

Adicionalmente se realizan actividades, que demandan tiempo y recurso para su atención, tales como:

- Apoyo Grupo Técnico (AGT): se presta apoyo a otro grupo de trabajo
- Actualización Planeamiento de equipo (APE): se modifica planeamiento
- Centro de cómputo (COM): falla en la central de tráfico por causa del computador de control
- Preventivo (PR): mantenimiento preventivo del equipo
- Cambio de armario (CA): por deterioro se cambia el armario del equipo

Las principales fallas que se presentan en los equipos de control se relacionan en la figura 2.



**Figura 2.** Fallas de equipos de control.

**Información, análisis y priorización de problemas encontrados en mantenimiento integral (preventivo y correctivo) de la red de interconexión telefónica del sistema de semaforización de Bogotá D.C.**

A continuación se observan las causas de las fallas del sistema de Interconexión Electrónica Semaforico.

**Tabla 3.** Causas de fallas de sistemas de interconexión en los meses del 2014.

<b>Periodo</b> <b>Causas de la falla</b>	mar-14	abr-14	may-14	jun-14	jul-14	ago-14	sep-14	oct-14	nov-14	dic-14	ene-15	feb-15	mar-15	<b>TOTAL</b>
Hurto de cable	2	1	4	3	4	3	1	1	4	4	7	4	1	39
Daño por obras civiles	2	2	1	1	2	0	1	2	2	1	3	0	0	17
Daño por roedores	2	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0	8
Hilos rotos o en corto	4	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	11
Bajo aislamiento	0	2	1	0	0	0	1	3	1	0	1	2	0	11
Daño de cable por quema	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	3
<b>Total</b>	10	7	7	5	7	4	5	6	8	7	14	7	2	89

### **Información, análisis y priorización de problemas encontrados en mantenimiento eléctrico de la red de semaforización de Bogotá D.C.**

Las órdenes de servicio son tienen diferentes orígenes, los cuales se muestran en la tabla 4.

El análisis que se presentará a continuación tiene las siguientes características:

1. Período de tiempo: del 31 de marzo de 2014 al 31 de marzo de 2015.
2. La siguiente tabla muestra la cantidad de órdenes de servicio por diferentes orígenes:

**Tabla 4.** Frecuencia de fallas relacionadas con el mantenimiento eléctrico.

Falla	Cantidad
Accidente de tránsito	223
Acometida en mal estado	7
Bombillas en mal estado	3340
Cable en mal estado	47
Contactos eléctricos en mal estado	398
Cruce nuevo	63
Cumplimiento de la vida útil	3
Deterioro del elemento	130
Falla de energía	262
Falla en equipo de control	7
Hurto / daños por terceros	27
Mantenimiento de bases y postes	203
Modificación de la intersección	50
Modificación de planeamiento	92
Módulo led en falla	174
No hay tensión de salida	20
Afectación por obras	42
Transformadores 120/12 V averiados	76
Traslado equipo de control	5
UPS en falla	2
Vandalismo	168
<b>Total fallas</b>	<b>5339</b>

Con base en la tabla 4, producto del análisis de Pareto, se identificaron tres causas que impactan sobre la red eléctrica del sistema semafórico:

1. Bombillas en mal estado
2. Contactos eléctricos en mal estado
3. Falla de energía

### **Presentación de la propuesta de mejora de las actividades de mantenimiento del sistema semafórico de Bogotá D.C., hallazgos, conclusiones y recomendaciones**

A continuación veremos el análisis y priorización de los resultados de la fase anterior, se realizarán propuestas de mejoramiento del sistema de semaforización de la ciudad de Bogotá D.C., coherentes y factibles.

### **Propuesta de solución a problemas encontrados en la fabricación, instalación y mantenimiento de los postes para el sistema de semaforización de Bogotá D.C.**

*Solución al problema: cambio de postes*

- **Causa: siniestros y accidentes de tránsito**  
En intersecciones: instalar o mejorar la señalización preventiva o direccional, instalar signo pare, instalar alumbrado, instalar semáforo peatonal, mejorar los ciclos de semáforos, instalar semáforos preventivos, instalar señalización que anuncia semáforo, instalar signo Ceda el Paso, restringir giros a la izquierda, proveer giro especial a la izquierda, reducir condición deslizante, instalar franjas elevadas, etc.
- **Causa: oxidación**  
Para evitar el empozamiento de aguas y que estas circulen, se puede colocar como apoyo un tronco piramidal para incrementar la vida útil de los postes semafóricos. Siendo la corrosión un fenómeno que depende del material utilizado, de la concepción de la pieza



(forma, tratamiento, montaje) y del ambiente, se puede influir entonces en estos tres parámetros a través de técnicas de modificación de superficie.

La primera idea es seleccionar un material que no se corroa el ambiente considerado. Se pueden utilizar aceros inoxidables, aluminios, cerámicas, polímeros (plásticos), etc. La elección también debe tener en cuenta las restricciones de la aplicación (masa de la pieza, resistencia a la deformación al calor, capacidad de conducir la electricidad, etc.). Cabe recordar que *no* existen materiales absolutamente inoxidables; hasta el aluminio se puede corroer. Por tal motivo, hay que prever también la importancia de la corrosión y el tiempo en el que habrá que cambiar la pieza (mantenimiento preventivo).

***Propuesta de solución a problemas encontrados en construcción, reconstrucción y mantenimiento de las obras civiles para el sistema de semaforización de Bogotá D.C., incluye diseño semafórico de intersecciones para implementación de nuevos controles semaforizados***

*Solución al problema: afectación cajas de paso*

acciones preventivas-correctivas debe dirigirse primero a hurtos o averías de marcos de cajas de paso,

en seguida a hurto o averías de tapas de cajas de paso y en tercer lugar a obstrucción de tuberías. El propósito de las acciones recomendadas (para tener en cuenta en la implementación y evaluación) es reducir las clasificaciones en el siguiente orden: severidad, ocurrencia y detección.

- *Causa: hurto o avería de marcos*

La propuesta para este problema es el rediseño del sistema de anclaje del marco con varillas de acero que rodeen las paredes de la caja de paso, por lo menos dos (2) por cada marco, y lleguen a una profundidad de treinta centímetros (30 cm) para ser ancladas, es decir, anclar el marco a la tercera hilada de ladrillos de la caja de paso.

Esta propuesta mejoraría la seguridad de los marcos así como de la red semafórica, evitando el hurto de cables del sistema en general

- *Causa: hurto o avería de tapas*

Se propone implementar un cierre diferente para las cajas de paso, así como lo manejan varias empresas de servicios públicos; puede tratarse de un cierre con llave de diferente forma o un cierre por electroimán; con esto bajaría el índice de hurtos y se podría equipar a cada uno de los grupos autorizados a intervenir el sistema con una de estas llaves.



**Figura 3.** Prototipo marco.



- *Causa: obstrucción de tuberías*

Se recomienda generar un cierre hermético con un material manejable y moldeable después del mantenimiento o instalación. El material puede ser una espuma expansiva, compuesta a base de poliuretano y adaptable a cualquier orificio y fácil de remover, la cual se aplica por medio de aerosol.

***Propuesta de solución a problemas encontrados en mantenimiento preventivo y correctivo de computadores de tráfico y sus periféricos, equipos de control de tráfico local y conexión de módulos evaluadores de tráfico del sistema de semaforización de Bogotá D.C.***

Como se referencia en la descripción de las fallas de equipos, estas obedecen a daños en los módulos que componen los equipos de control de tráfico local y como resultado afecta el servicio de semaforización a la ciudadanía, ya sea presentando intermitencia en los amarillos de la intersección (cuando la seguridad de señales del equipo se activa) o simplemente apagando toda la intersección. Tales fallas obedecen a dos razones principalmente: los módulos cumplen el ciclo de vida útil y las descargas eléctricas en cercanías al equipo de control. Como recomendaciones se plantea lo siguiente:

**Recomendaciones para el sistema de control de la semaforización**

La solución evidente para el sistema de la ciudad es una modernización de las centrales de semaforización (instalar una sola nueva central de semaforización para toda la ciudad) y cambiar los equipos de control de tráfico local, que son de tecnologías antiguas. Teniendo en cuenta casos de éxito como la semaforización de Madrid en España o de Berlín en Alemania [11], [12] entre otras ciudades, y siendo Bogotá D.C. una ciudad de cerca de siete millones de habitantes, que apunta a la vanguardia, tanto en Latinoamérica como en el mundo, se

debe contar con técnicas de control contemporáneas para el manejo del tráfico, con las cuales las centrales actuales no cuentan. Hoy en día, el avance vertiginoso y posterior a la adquisición de las centrales con que cuenta la ciudad de Bogotá, en tecnologías de la información y las comunicaciones y los sistemas de control, brinda servicios que permitirían a la ciudad un mejor monitoreo, ajuste de planeamiento en tiempo real, medición de variables de tráfico, seguridad y menor inversión, tanto en tiempo, recurso humano como capital para el mantenimiento.

También se debe tener en cuenta, que una modernización brinda la oportunidad para adquirir una central que no obligue a la ciudad a comprar equipos de control de tráfico local, equipos de video-detección, repuestos, entre otros suministros necesarios a una sola empresa, sino que en el mediano y el largo plazo la ciudad, a diferencia de las últimas décadas, tenga la opción de obtener suministros, equipos y mantenimiento de diferentes proveedores.

Vale la pena aclarar que los avances mencionados incluyen la posibilidad de conectar equipos de diferentes fabricantes a un computador de tráfico de una marca específica [11]. A continuación se referencian algunas de las ventajas y soluciones que para este grupo de trabajo brindaría la modernización de las centrales.

*Reprogramaciones*

En la actualidad esta actividad representa el 12.12% de labores correctivas en el contrato de mantenimiento (de acuerdo a los datos tomados desde junio de 2014 hasta enero de 2015). Las nuevas centrales permiten realizar reprogramaciones desde la misma central de semaforización (lo que elimina el desplazamiento, la mano de obra calificada en terreno y las demoras en los cambios), e inclusive sin necesidad de intermediación por parte de un operador humano (también se disminuye

el riesgo de falla por errores humanos), ya que se cuenta con la opción del control de tipo adaptativo [13], que de acuerdo a las condiciones de tráfico, tomado por cámaras y sensores instalados en terreno, realiza los planes de señales y calcula los tiempos de las luces de tráfico adecuados para controlar las intersecciones.

Las nuevas centrales también cuentan con control por tiempos fijos (la modalidad actual que se utiliza para controlar las intersecciones y que se refiere a planes de señales elaborados por profesionales en el tema) y control responsivo (se refiere a un tipo de control que cambia automáticamente entre planes de señales preestablecidos por profesionales en el tema, de acuerdo a condiciones detectadas en terreno).

#### *Control en tiempo real*

Se recomienda instalar en terreno detectores virtuales de tráfico (se refiere a cámaras, que en conjunto con aplicaciones de software detectan las condiciones de tráfico en las vías), [14] que en conjunto con equipos de control y central de tráfico con nuevas tecnologías, permiten que las condiciones de tráfico sean medidas en tiempo real y se puedan tomar medidas, en términos del plan de señales que más se adapten a las condiciones en terreno. Respecto a los detectores de efecto inductivo que están instalados en algunas intersecciones actualmente, los detectores virtuales son de fácil mantenimiento, se pueden reconfigurar fácilmente para cambios en las vías y no son invasivos con las vías en sí.

#### ***Propuesta de solución a problemas encontrados en mantenimiento integral (preventivo y correctivo) de la red de interconexión telefónica del sistema de semaforización de Bogotá D.C.***

Las acciones preventivas-correctivas deben dirigirse primero a hurtos y luego a averías. El propósito de las acciones recomendadas (para tener

en cuenta en la implementación y evaluación) es reducir las clasificaciones en el siguiente orden: severidad, ocurrencia y detección.

Asimismo, la interventoría realizó el seguimiento a la siniestralidad del sistema y sugirió al contratista la mejora en las condiciones de seguridad de las tapas de las cajas y las cámaras de paso.

Después de haberse presentado diferentes casos de hurto de cable de 1200 pares ramificado, se han instalado tapas metálicas sencillas y doble en diferentes puntos de la ciudad, como se observa en la siguiente dirección.



**Figura 4.** Imagen tomada en la Carrera 19B x Calle 28.

Una vez implementada la solución cesó el hurto contra el cable de mil doscientos (1200) pares de la red 1-2 que cruza por el corredor relacionado, validando así la efectividad de las mejoras implementadas.

Luego de evaluar los resultados obtenidos, una vez mejoradas las condiciones de seguridad en los sitios presentados en el presente documento, se sugiere a la SDM la evaluación de la instalación de tapas metálicas de bandeja en los circuitos de las intersecciones localizadas en la carrera 24, la carrera 27, la calle 6 y la avenida caracas, entre otros lugares afectados por el corte de cable eléctrico y de interconexión.

**Propuesta de solución a problemas encontrados mantenimiento eléctrico de la red de semaforización de Bogotá D.C.**

En esta propuesta veremos las posibles soluciones a las fallas más reiterativas y significativas, encontradas en el mantenimiento eléctrico que afectan el correcto funcionamiento de las intersecciones semaforizadas, causando traumatismo en la movilidad de la ciudad.

*Solución al problema: fallas eléctricas y de acometida*

*Recomendaciones para la solución de problemas presentados en el sistema actual*

Para el caso del presente documento las afectaciones en la calidad de energía se clasifican en los aspectos que se encuentran en la siguiente tabla:

**Tabla 5.** Perturbaciones. Fuente: Adaptación fr NTC5001 e IEEE 1159.

<b>Perturbaciones</b>	<b>Tipo</b>
Desbalance de voltaje	Falla de estado estable del 0.5% al 2%
Distorsión de la forma de onda (de estado estable)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DC offset</li> <li>• Armónicos</li> <li>• Interarmónicos</li> <li>• Notching</li> <li>• Ruido</li> </ul>
Fluctuaciones de voltaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla intermitente menor a 25Hz</li> </ul>
Fluctuaciones de frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De duración menor a 10 segundos</li> </ul>
Larga duración (mayor a 1 minuto)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrupción sostenida</li> <li>• Bajo voltaje</li> <li>• Sobre voltaje</li> </ul>
Lentas (corta duración)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instantáneas (0,5 ciclos a 30 ciclos)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– SAG (bajo voltaje momentáneo)</li> <li>– SWELL (alto voltaje momentáneo)</li> </ul> </li> <li>• Momentáneas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– SAG (30 ciclos a 3 segundos)</li> <li>– SWELL (30 ciclos a 3 segundos)</li> <li>– Interrupción (0.5 ciclos a 3 segundos)</li> </ul> </li> <li>• Temporales                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– SAG (3 segundos a 1 minuto)</li> <li>– SWELL (3 segundos a 1 minuto)</li> <li>– Interrupción (3 segundos a 1 minuto)</li> </ul> </li> </ul>
Rápidas (transientes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impulsivas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Nanosegundos</li> <li>– Microsegundos</li> <li>– Milisegundos</li> </ul> </li> <li>• Oscilatorias                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Baja frecuencia (&lt;5kHz)</li> <li>– Media frecuencia (5kHz a 500kHz)</li> <li>– Alta frecuencia (0,5MHz a 5MHz)</li> </ul> </li> </ul>

En el caso de la semaforización de Bogotá D.C., las fallas y afectaciones en la calidad de energía son responsabilidad del prestador del servicio de energía eléctrica. Particularmente las fallas de larga duración y las fluctuaciones de voltaje afectan en gran medida los equipos de control de tráfico local, debido a que estos necesitan alimentación eléctrica y un nivel de 120 VAC para su correcto funcionamiento.

En primera medida se recomienda que se realice un estudio de calidad de energía y un seguimiento permanente a las diferentes acometidas distribuidas en la ciudad, para exigirle al proveedor del servicio eléctrico los estándares mínimos de calidad contemplados en el marco regulatorio colombiano (marco regulatorio de la calidad en los Sistemas de Transmisión Regional y de Distribución Local, que se encuentra contenido en la Resolución CREG 070 de 1998 -Código de Distribución-, que ha sido modificada y complementada mediante las Resoluciones CREG 025 y 089 de 1999, 096 de 2000, 159 de 2001, 084 de 2002 y 113 de 2003). De la misma forma, realizar los descuentos pertinentes en el pago del servicio, contemplados en la ley, y que hoy en día son obviados por falta de información concreta de la calidad del servicio prestado por parte de la empresa que suministra la energía eléctrica.

Sin embargo, aunque los problemas de suministro eléctrico y calidad de energía son ajenos a la SDM y a los contratistas de mantenimiento de semaforización, se pueden mitigar las afectaciones en el servicio de semaforización hacia la ciudadanía, instalando diferentes sistemas de protección y suministro de potencia, de acuerdo con la naturaleza de las distintas fallas.

#### *Recomendaciones para mitigar las fallas eléctricas de larga duración*

Actualmente, las fallas de energía de larga duración en los computadores de tráfico se solventan a través

del sistema de UPS, filtros, fuentes y reguladores con que cuenta cada central de semaforización. Sin embargo, debido a la antigüedad de los computadores, los repuestos son difíciles de conseguir y muy costosos respecto a sistemas con tecnologías recientes. También son sistemas con dimensiones físicas amplias y de mantenimiento complejo (de acuerdo con las recomendaciones consignadas en los informes del contratista de mantenimiento de equipos). Al respecto se recomienda la adquisición de nuevas centrales, que son de un mantenimiento más económico y sencillo; requieren menor refrigeración, además ocupan espacios más reducidos y consumen menos potencia eléctrica, lo que implica sistemas de protección más simples.

Por otro lado, los equipos de control de tráfico local, que se encuentran distribuidos por toda la ciudad, son más susceptibles a las fallas eléctricas de larga duración. Se recomienda que para cada equipo de control se instalen sistemas de UPS, con su correspondiente banco de baterías, que puedan brindar un soporte superior a una hora de autonomía. Dichos sistemas pueden brindar a la ciudadanía prestación ininterrumpida del servicio de semaforización, independiente de la calidad de energía en términos de fallas de larga duración. Además, reduce en gran medida los problemas asociados a las perturbaciones de voltaje y frecuencia [15].

#### *Recomendaciones para mitigar las fallas eléctricas de corta duración*

En el caso de los computadores de tráfico local, los reguladores y UPS de las centrales mitigan las fallas eléctricas de corta duración. En el caso de los equipos de control de tráfico local, aunque poseen filtros y fuentes que en cierta medida corrigen los inconvenientes, la recomendación técnica [16] es adquirir equipos con reguladores de voltaje (los equipos más actualizados los poseen) o instalar reguladores en los equipos que presenten este tipo de fallas.

### *Recomendaciones para mitigar las fallas eléctricas transientes*

Tanto en los computadores de tráfico, como en los equipos de control de tráfico local, las fallas por causa de transientes afecta en gran medida la prestación del servicio de semaforización.

En los computadores de tráfico estas fallas son inducidas al sistema, tanto en las acometidas eléctricas como en los cables de interconexión que conectan dichos computadores con los equipos que controlan cada una de las intersecciones. Para este caso, la recomendación es instalar supresores de picos [17] [16] preferiblemente conformado por varistores cerámicos o de estado sólido (por lo general elaborados en óxido de zinc), que tienen una respuesta más rápida al transiente y mayor resistencia a las variaciones térmicas. [18], [19].

Se recomienda instalar los supresores, tanto en la acometida de cada uno de los equipos de control de tráfico local, como en los cables de interconexión que conectan a cada equipo con los computadores de tráfico (si se reemplaza el par de cobre por fibra óptica, se mitigaría este problema por cuenta de las inducciones en el cable de interconexión). También se recomienda conectar supresores en cada una de las centrales de tráfico en sus tableros de distribución.

### *Solución a los problemas de: bombillerías en mal estado, contactos eléctricos en mal estado*

Para tener un sistema de semaforización eficiente es preciso invertir recursos para mejorar notablemente la tecnología aplicada. En la mayoría de las 1238 intersecciones semafóricas de la ciudad de Bogotá D.C. se tienen instalados semáforos que utilizan bombillas halógenas.

Se aconseja que en la totalidad de las intersecciones semaforizadas de Bogotá D.C. sean instalados semáforos LED [20].

Al implementar esta tecnología se obtienen beneficios como los que se presentan a continuación:

- Se reduciría notablemente la recurrencia de estos orígenes de orden de servicio, ya que estos semáforos tienen una vida útil de diez 10 años o entre cuarenta mil 40000 a cincuenta mil 50000 horas de vida útil, lo que reduce la cantidad de mantenimientos preventivos a este tipo de tecnología.
- No tienen es su composición filamentos, lo que reduce que se dañe por fenómenos mecánicos.
- Por su composición consume menos energía que una bombilla halógena y disipa menos calor y evita que haya mayores pérdidas de energía, por lo tanto se presentan bajos consumos de energía
- Los módulos LED de los semáforos traen su propia fuente, lo que evita que se instalen otros elementos como reflectores, conectores o los transformadores; de esta manera se reduce la posibilidad de que se dañen más elementos del semáforo, a menos de que el módulo se dañe por problemas de su fuente el daño, en ese módulo es secuencial, lo que le da tiempo al operario de reemplazarlo sin que el usuario note gran cambio en la señalización.
- Ofrecen excelente luminosidad. Al respecto, se han desarrollado unos módulos LED especiales que favorecen el desplazamiento de personas con discapacidad visual, quienes históricamente no han sido tenidos en cuenta y han estado desprotegidos para hacer con normalidad sus desplazamientos por las ciudades.
- Larga vida útil.
- Mantenimiento prácticamente nulo.
- Amigables con el medio ambiente.

En el mercado se encuentra una solución que incluye dichas características, incorporan un aviso acústico integrado en una óptica de luces LED en el propio semáforo, la cual emite una señal acústica vía Bluetooth al terminal del usuario para que se detenga o avance, asegurando que los peatones

puedan hacer el cruce con seguridad, Estos semáforos se conocen como PASBLUE [21].

En la búsqueda de soluciones a futuro, se ha encontrado una solución que es posible analizar pensando en el futuro de las fuentes de energía que tenemos limitadas cada vez más: semáforos con *energía solar*.

## REFERENCIAS

- [1] J. Pozueta, M. Porto, A. Gurovich, M. Pavez y F. Ferrando. *Alternativas al modelo dominante de ciudad dispersa, zonificada y de baja densidad: el caso de los corredores fluviales y la interfaz urbana rural de Madrid y Santiago de Chile*, Madrid: AECl, 2008.
- [2] M. A. Dombritz. "Urbanismo y movilidad: dos caras de la misma moneda, Ingeniería y Territorio", *Ingeniería y territorio*, 86, 4-9, 2009 [en línea]. Consultado el, disponible en: [http://www.ciccp.es/revistaIT/textos/articulo\\_frm.sp?id=498](http://www.ciccp.es/revistaIT/textos/articulo_frm.sp?id=498)
- [3] R. Montezuma. "Alternativas en la movilidad urbana". *Perspectiva*, 15, 67-69, 2007 [en línea]. Consultado el, disponible en: <http://www.revistaperspectiva.com/archivos/revista/No%2015/montezuma.pdf>
- [4] R. Fernández. "Ciudades al borde del colapso. Nota sobre la insoportable insostenibilidad urbana", *Perspectivas Urbanas*, 6, 1-9, 2005 [en línea]. Consultado el, disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/Perspectivas/article/view/85012>.
- [5] D. Escobar. "Instrumento y metodología de planes de movilidad y transporte en las ciudades medias Colombianas". PhD Tesis, Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2008.
- [6] R. Gakenheimer. "Los problemas de la movilidad en el mundo en desarrollo", *Eure*, 24, 1998 [en línea]. Consultado el, disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_art-text&pid=S0250-71611998007200002](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_art-text&pid=S0250-71611998007200002)
- [7] Comisión de las comunidades europeas, *Libro Verde. Hacia una nueva cultura de la movilidad urbana*, Bruselas: Public consultation in preparation for the Green Paper on urban mobility SEC, 2007.
- [8] C. Flórez. "El actual modelo de transporte de Bogotá es equivocado", *Revista Javeriana: El Pensamiento Cristiano En Diálogo Con El Mundo. Medio Ambiente Universal Y Desarrollo Sostenible*, 779, 19 – 18, 2011 [en línea]. Consultado el, disponible en: <http://pujportal.javeriana.edu.co/portal/.../portal/.../ARTICULO%20MOVILIDAD>
- [9] S. Jiménez. "Transporte urbano sostenible: medidas desde la administración y transporte público como alternativa en Bogotá D.C". *Perspectiva Geográfica*, 1(13), 79- 104, 2008 [en línea]. Consultado el, disponible en: <http://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/perspectiva/article/view/1713>
- [10] Alcaldía Mayor de Bogotá. *El Plan Maestro de Movilidad*, 2006 [en línea]. Consultado el, disponible en: <http://www.movilidadbogota.gov.co/?sec=170>
- [11] M. Dannehl. *The Trans-European Networks programme as encouragement of Public Private partnerships in Europe and vice versa*. Berlin: Grin Verlag, 2007.
- [12] M. Hermenegildo y G. Puebla. *9th International Symposium, Proceedings*, Volumen 9. Madrid, España: Springer, 2002.
- [13] A. Bouchachia. "Second International Conference", *ICAIS, Proceedings, Klagenfurt*, Austria: Springer, 2011.
- [14] G. Roth. *Street Smart: Competition, Entrepreneurship, And the Future of Roads*. New York: Transaction Publishers, 2006.
- [15] A. Moreno. *Power Quality*. Córdoba, España: Springer Link, 2007.
- [16] Ministerio de Minas y Energía. *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas -RETIE*. Bogotá D.C.: MME, 2004.
- [17] A. Rash. "Harmonics-what are they, how to measure them and how to solve the problem (in connection with standards IEEE 1159-1995 and IEEE 519-1992)". *Electrical and Electronics*

- Engineers in Israel*, 19, 83-86, 1996 [en línea]. Consultado el, disponible en: [ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber...](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber...)
- [18] P.Chowdhuri. *Electromagnetic Transients in Power Systems*. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [19] M. Peiteado. *Varistores cerámicos basados en óxido de cinc*. Madrid, España: Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio, 2005.
- [20]. ¿Qué es un LED?. *Tecnología y educación*. Bogotá D.C., 2012. [en línea]. Consultado el, disponible en: <http://www.tecnologiayeducacion.com/%C2%BFque-es-luz-led/#sthash.FL-QWd5Og.dpuf>.
- [21] El proyecto PASBLUE de Vía Libre recibe el Premio Vodafone a la Innovación en Telecomunicaciones. Madrid: *Fundación ONCE*, 2013. [en línea]. Consultado el, disponible en: <http://www.fundaciononce.es/es/noticia/el-proyecto-pasblue-de-libre-recibe-el-premio-vodafone-la-innovacion-en-telecomunicaciones>

